

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟ

1) Τι είναι ο μαγνητισμός?

Ο μαγνητισμός είναι μια κλάση φαινομένων που σχετίζεται με την συμπεριφορά των σωμάτων που εμφανίζεται όταν αυτά βρεθούν σε αυτό που ονομάζουμε μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο είναι ένα πεδίο που παράγεται μέσω της κίνησης ηλεκτρικών φορτίων ή λόγω των ιδιοτήτων ορισμένων υλικών (φυσικοί μαγνήτες).

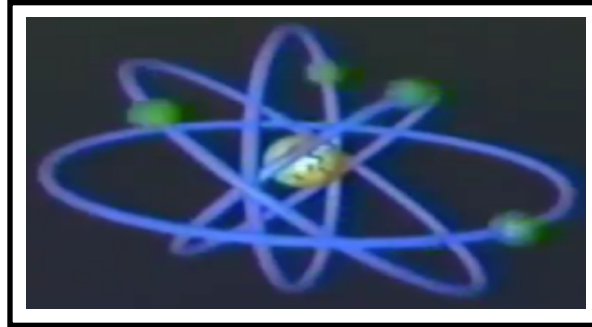
2) Ποιά υλικά επηρεάζονται από το μαγνητικό πεδίο?

Όλα τα υλικά επηρεάζονται ως έναν βαθμό από ένα μαγνητικό πεδίο. Ορισμένα είναι από μόνα τους φυσικοί μαγνήτες (**φερομαγνήτες**) και δρουν αναλόγως με την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου στο οποίο εντάσσονται, ενώ παράγουν και τα ίδια από μόνα τους μαγνητικό πεδίο. Άλλα αντιδρούν όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο (εμφανίζουν δυνάμεις) αλλά αν το πεδίο αυτό αναιρεθεί χάνονται οι όποιες μαγνητικές ιδιότητες είχαν εμφανίσει εξαιτίας του (**παραμαγνήτες**). Ορισμένα υλικά αποθούνται λόγω των μαγνητικών πεδίων (**διαμαγνήτες**) ενώ τέλος υπάρχουν πολλές ουσίες που επηρεάζονται ελάχιστα από τα μαγνητικά πεδία (**μη-μαγνητικά υλικά**). *Η φυσική κατάσταση μιας ουσίας αλλάζει την ένταξή της στις ανωτέρω κατηγορίες.* Για παράδειγμα το αέριο οξυγόνο είναι μη μαγνητικό αλλά το υγροποιημένο οξυγόνο είναι παραμαγνητικό.

3) Που οφείλεται η ανωτέρω κατηγοριοποίηση?

Η κατηγοριοποίηση σε παραμαγνήτες, φερομαγνήτες, διαμαγνήτες και μη μαγνητικά υλικά, έχει την βάση της στην διάταξη των ηλεκτρονίων των υλικών και στον μηχανισμό παραγωγής ενός εσωτερικού μαγνητικού πεδίου εντός των υλικών. Για να γίνει αντιληπτό το πως διαμορφώνονται οι κατηγορίες αυτές, πρέπει να μελετηθεί η μοριακή δομή του κάθε υλικού βάσει των παρακάτω διαπιστώσεων.

Ως γνωστόν, ένα άτομο (εικόνα 1) αποτελείται από έναν πυρήνα νετρονίων και πρωτονίων που συγκεντρώνει την μάζα του, και από ηλεκτρόνια τα οποία περιστρέφονται γύρω από αυτό.



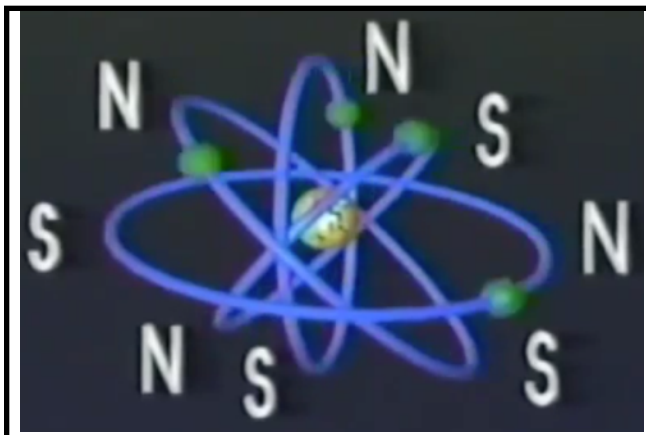
Εικόνα 1: Το άτομο και τα ηλεκτρόνια που το περιστοιχίζουν.

Κάθε ηλεκτρόνιο, μέσω την κίνησης στην τροχιά του, παράγει ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, συγκεκριμένης κατεύθυνσης όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η κατεύθυνση του μαγνητικού αυτού πεδίου εξαρτάται από τον προσανατολισμό της τροχίας του ηλεκτρονίου στον χώρο, αλλά και από την κατεύθυνση κίνησης του ηλεκτρονίου (βλ. εικόνα 2).



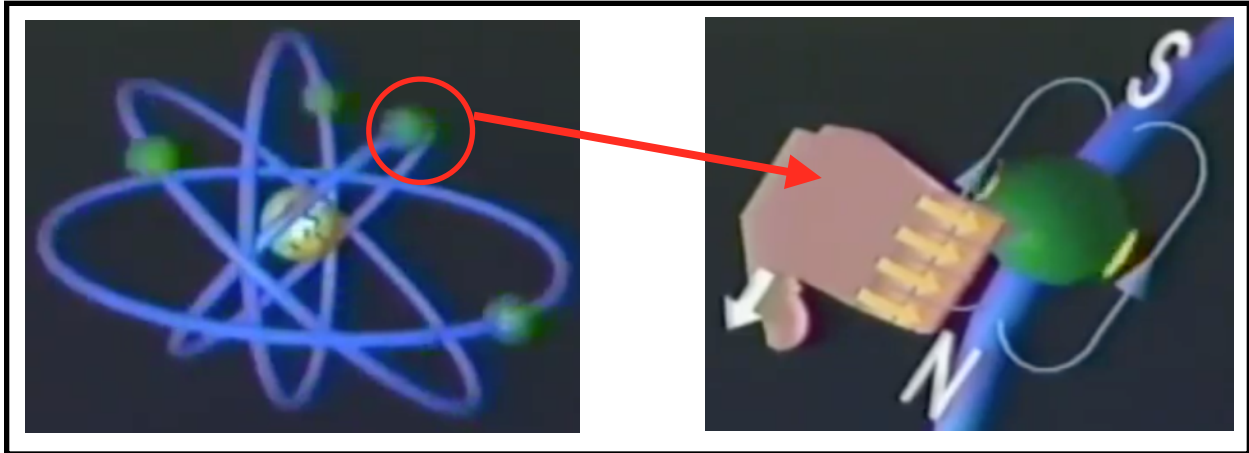
Εικόνα 2: Μαγνητικό πεδίο που παράγεται λόγω της κίνησης του ηλεκτρονίου

Το γεγονός ότι έχουμε πολλές τροχίες με διαφορετικό προσανατολισμό η κάθε μια, έχει σαν επακόλουθο την αλληλοεξουδετέρωση των επιμέρους μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν τα κινούμενα ηλεκτρόνια. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 3 σχηματικά.



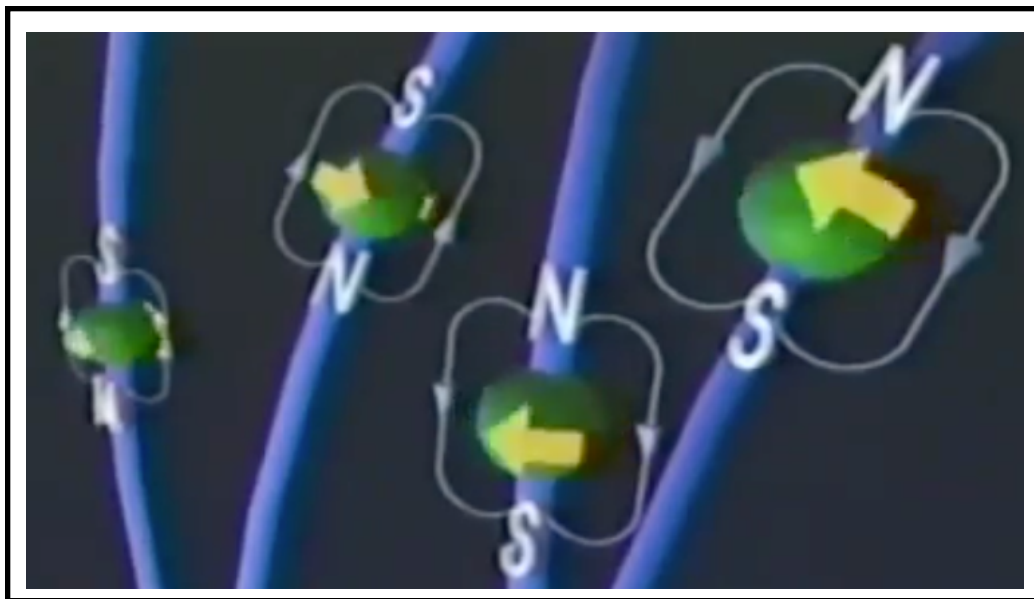
Εικόνα 3: Αλληλοεξουδετέρωση των επιμέρους μαγνητικών πεδίων των ηλεκτρονίων λόγω του τυχαίου προσανατολισμού των ηλεκτρονίων τους.

Επιπροσθέτως, κάθε ηλεκτρόνιο έχει στροφορμή (spin), που σημαίνει ότι περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του. Η περιστροφή αποτελεί επίσης μια κίνηση, που έχει σαν συνέπεια την δημιουργία ενός ακόμη μικροσκοπικού μαγνητικού πεδίου τοπικά γύρω από το ηλεκτρόνιο (βλ. εικόνα 4).



Εικόνα 4: Μαγνητικό πεδίο λόγω της περιστροφής του ηλεκτρονίου γύρω από τον άξονά του επάνω στην τροχιά

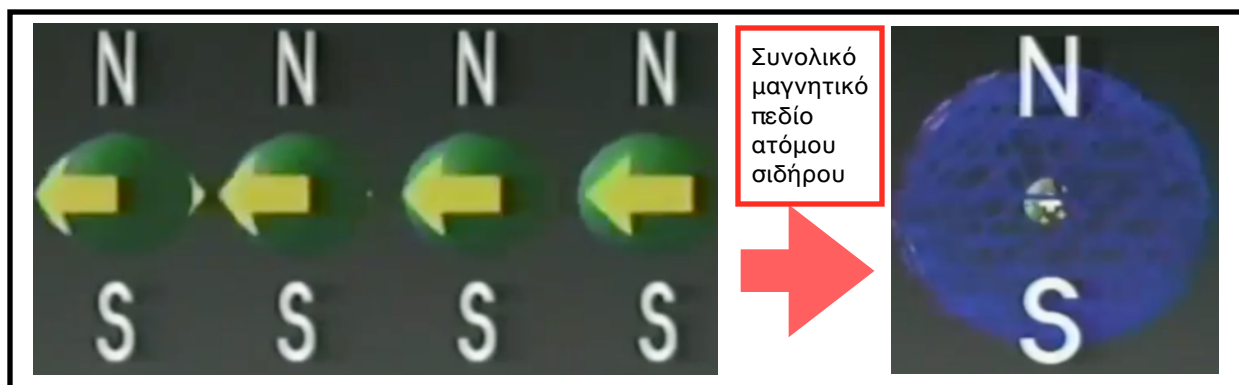
Ωστόσο, επειδή η στροφορμή δεν είναι κοινή για όλα τα ηλεκτρόνια, είναι δυνατόν δύο ηλεκτρόνια να έχουν αντίθετη φορά περιστροφής. Αυτό είναι αρκετά συνηθισμένο στα διάφορα υλικά και έχει σαν αποτέλεσμα τα μαγνητικά πεδία λόγω της στροφορμής των ηλεκτρονίων να αλληλοεξουδετερώνονται όπως ακριβώς γίνεται με τα μαγνητικά πεδία λόγω της κίνησης των ηλεκτρονίων σε τροχιές. Αυτό παρίσταται ποιοτικά στην παρακάτω εικόνα 5.



Εικόνα 5: Αλληλοεξουδετέρωση των μαγνητικών πεδίων λόγω διαφορετικής φοράς περιστροφής των ηλεκτρονίων

Το γενικό αποτέλεσμα των ανωτέρω στοιχείων είναι ότι τα περισσότερα άτομα δεν παρουσιάζουν ένα συνολικό μαγνητικό φορτίο, είναι δηλαδή *μαγνητικά ουδέτερα* (μη μαγνητικά υλικά).

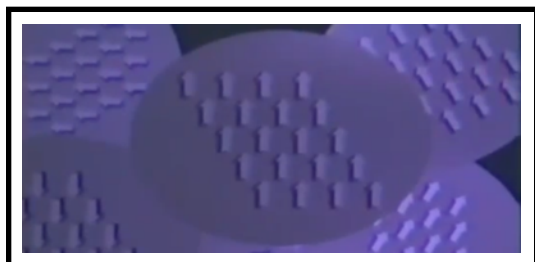
Όπως όμως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχουν υλικά τα οποία είναι φερομαγνήτες ή παραμαγνήτες. Ο σίδηρος για παράδειγμα είναι ένας φερομαγνήτης. Στα υλικά αυτά, παρόλο που τα μαγνητικά πεδία λόγω τροχιών αλληλοεξουδετερώνονται, δεν ισχύει το ίδιο για τα μαγνητικά πεδία λόγω στροφορμής. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν περισσότερα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται πριν την μια κατεύθυνση από ότι προς την άλλη. Έτσι το συνολικό μαγνητικό πεδίο ενός ατόμου δεν είναι μηδέν.



Εικόνα 6: Στον σίδηρο για κάθε τέσσερα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται προς την μια κατεύθυνση, μόλις ένα έχει αντίθετη φορά. Έτσι ένα άτομο σιδήρου έχει τελικά ένα μη μηδενικό μαγνητικό πεδίο.

Στην ουσία, τα άτομα αυτών των υλικών είναι μικροσκοπικοί μαγνήτες. Εκτός από τον σίδηρο, παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζει το κοβάλτιο και το νικέλιο. Οι μικροσκοπικοί αυτοί μαγνήτες είναι γνωστοί και ως μαγνητικά δίπολα, επειδή σαν μαγνήτες έχουν δύο πόλους.

Η αλληλεπίδραση των μικροσκοπικών διπόλων μεταξύ τους, οδηγεί στην δημιουργία μαγνητισμένων τμημάτων εντός του υλικού. Τα τμήματα αυτά (domains) είναι μήκους περίπου 1mm στα συνηθισμένα υλικά και περιέχουν εκατομμύρια μαγνητισμένα άτομα (μικροσκοπικά δίπολα). Ωστόσο, τα τμήματα αυτά είναι διατεταγμένα τυχαία μεταξύ τους, οπότε έχουν το παρόμοιο αποτέλεσμα με τις τυχαίες τροχιές των ηλεκτρονίων, δηλαδή δεν εμφανίζουν συνολικό μαγνητικό πεδίο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

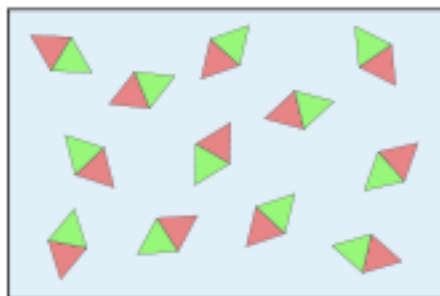


Εικόνα 7: Μαγνητισμένα τμήματα υλικού με τυχαίο προσανατολισμό μαγνητικού πεδίου που προκαλούν συνολικό μαγνητικό πεδίο μηδενικής έντασης.

Ανάλογα με το πως είναι η διαμόρφωση των μαγνητισμένων τμημάτων εντός ενός υλικού, το υλικό που προκύπτει είναι φερομαγνητικό ή παραμαγνητικό.

4) Διαφορά παραμαγνητικού & φερομαγνητικού υλικού

Ας υποθέσουμε ότι ένα υλικό περιέχει μαγνητισμένα τμήματα (domains) σε τυχαίες διευθύνσεις ώστε το συνολικό μαγνητικό πεδίο του να είναι μηδαμινό, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 8: Τυχαία διατεταγμένα δίπολα σε φερομαγνητικό ή παραμαγνητικό υλικό.

Αν το υλικό αυτό βρεθεί εντός ενός μαγνητικού πεδίου, τότε τα μικροσκοπικά μαγνητικά δίπολα θα μαγνητιστούν και θα προσανατολιστούν παράλληλα με αυτό, με αποτέλεσμα να το ενισχύσουν. Η διαφοροποίηση μεταξύ φερομαγνητικού και παραμαγνητικού υλικού λαμβάνει χώρα όταν αφαιρεθεί το μαγνητικό πεδίο. Στα παραμαγνητικά υλικά τα μικροσκοπικά δίπολα θα επιστρέψουν στην προγενέστερη κατάστασή τους με αποτέλεσμα να αποκτήσουν ένα συνολικό μηδενικό μαγνητικό πεδίο. Όμως, οι φερομαγνήτες θα διατηρήσουν τον νέο προσανατολισμό που απέκτησαν με συνέπεια να παράγουν ισχυρό μαγνητικό πεδίο και μετά την αφαίρεση του μαγνητικού πεδίου που προσανατόλισε τα μικροσκοπικά τους δίπολα. Δηλαδή, ένας φερομαγνήτης θα δημιουργήσει έναν μόνιμο μαγνήτη μετά την αφαίρεση του μαγνητικού πεδίου.

Στην πραγματικότητα, λοιπόν, ο μηχανισμός που διέπει ένα φερομαγνητικό και ένα παραμαγνητικό υλικό είναι ο ίδιος. Και τα δύο έχουν πολλά ηλεκτρόνια με κοινή στροφορμή τα οποία δημιουργούν μικροσκοπικά μαγνητικά δίπολα. Επίσης, και στα δύο υλικά τα μαγνητισμένα τμήματα είναι τυχαία διατεταγμένα μεταξύ τους, ώστε ο συνολικός όγκος υλικού να έχει μηδενικό μαγνητικό πεδίο. Η διαφορά έγκειται στο ότι τα φερομαγνητικά υλικά διατηρούν το μαγνητικό πεδίο που αποκτούν όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο ακόμη και αν αυτό διακοπεί έπειτα, ενώ κάτι τέτοιο δεν ισχύει για τα παραμαγνητικά υλικά.

Ένα παράδειγμα φερομαγνητικού υλικού είναι το ατσάλι. Όταν βρεθεί σε ένα μαγνητικό πεδίο τα μαγνητισμένα τμήματά του αποκοτούν εννιαίο προσανατολισμό και δημιουργούν έναν ισχυρό μαγνήτη. Όταν το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο αφαιρεθεί, τα άτομα του άνθρακα που έχουν προστεθεί κατά την

διαδικασία δημιουργίας του, εμποδίζουν τα μαγνητικά τμήματα να επιστρέψουν στην προηγούμενη θέση τους που είχε σαν συνέπεια μηδενικό μαγνητικό πεδίο, οπότε το υλικό παραμένει μαγνητισμένο.

Τέλος, τα φερομαγνητικά υλικά είναι λίγα και χάνουν τις μαγνητικές τους ιδιότητες όταν θερμανθούν πάνω από μια θερμοκρασία (θερμοκρασία Curie). Αν ξεπεραστεί η θερμοκρασία Curie, ένας φερομαγνήτης μπορεί να δράσει σαν παραμαγνήτης.

Οι παραμαγνήτες με τους οποίους θα ασχοληθούμε και στην παρούσα εργασία έχουν συνήθως magnetic susceptibility $\mu=10^{-3}$ ως 10^{-5} , ενώ για συνθετικά παραμαγνητικά υλικά (ferrofluids) μπορεί να φτάσει και ως 0.1.

5) Μαγνητική παγίδευση (magnetic trapping)

Ο σκοπός της μαγνητικής παγίδευσης είναι και ο σκοπός της εργασίας αυτής. Αυτό που πρέπει να επιτευχθεί είναι να συγκρατηθούν ορισμένα παραμαγνητικά σωματίδια (beads) ενός ρευστού καθώς αυτό διέρχεται μέσα από μια διάταξη.

Η συγκεκριμένη διαδικασία ενδιαφέρει διότι αν επιτευχθεί, μια βελτίωσή της θα επιτρέπει την συλλογή πρωτεϊνών από βιολογικά υγρά σε μικρό χρόνο και κόστος και σε υψηλή απόδοση (μεγάλες τιμές περιεκτικότητας).

Η παγίδευση μέσω μαγνητικού πεδίου, εκμεταλεύεται τις ιδιότητες των παραμαγνητικών υλικών δηλαδή το ότι όταν ενεργοποιηθεί ένα μαγνητικό πεδίο ασκείται δύναμη στα υλικά, ενώ όταν αφαιρεθεί τα υλικά αυτά είναι πλέον ελεύθερα να κινηθούν. Μια διάταξη που να επιτρέπει την ελεύθερη ροή των παραμαγνητικών σωματιδίων είναι απαραίτητη. Σε αυτήν την διάταξη προσαρμόζεται ένας μαγνήτης (είτε μόνιμος είτε ηλεκτρομαγνήτης) ο οποίος θα οδηγήσει τα σωματίδια σε έναν ειδικά σχεδιασμένο χώρο στην διάταξη ώστε να τα συγκεντρώσει. Αυτός είναι και ο σκοπός της εργασίας. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η διάταξη να επιτρέπει σε όλα τα σωματίδια να προσέλθουν σε αυτόν τον σχεδιασμένο χώρο, δηλαδή να καθιστά εφικτή την ελεύθερη ροή αυτών.

Μερικές φορές, για την μαγνητική παγίδευση δεν χρησιμοποιούνται παραμαγνητικά υλικά αλλά μαγνητικά υλικά, για μεγαλύτερη απόδοση. Ο μαγνητήτης είναι ένα συνηθισμένο υλικό διότι μαγνητίζεται εύκολα και οξειδώνεται δύσκολα. Για την συλλογή των πρωτεϊνών επικαλύπτεται με ειδική μη μαγνητική επίστρωση που βοηθάει την συλλογή των πρωτεϊνών.

Συνήθως τα σωματίδια είναι από μερικά μικρά ως και πέντε χιλιοστά. Για να θεωρείται ένα σωματίδιο από μόνο του παραμαγνητικό, δηλαδή για να θεωρήσουμε ότι κάποιο σωματίδιο θα χάσει πλήρως τις μαγνητικές του ιδιότητες όταν αφαιρεθεί το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο θα πρέπει να είναι της τάξης των

42 μm . Οπότε δεν μπορούν να θεωρηθούν τα σωματίδια πλήρως παραμαγνητικά και θα έχουν αναγκαστικά κάποιες μαγνητικές ιδιότητες ακόμη και μετά την αφαίρεση του μαγνητικού πεδίου. Η δύναμη που ασκείται σε ένα σωματίδιο σαν και αυτά που συζητούνται όταν αυτό βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο είναι:

$$F = \frac{V \cdot \Delta\chi}{\mu_0} (B \cdot \nabla) B \dots\dots\dots(1)$$

- V: ο όγκος του σωματιδίου
- $\Delta\chi$: η διαφορά των magnetic susceptibilities του μέσου και του σωματιδίου
- B: η ένταση του μαγνητικού πεδίου
- $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$

Όπως φαίνεται από την σχέση (1) για να ασκηθεί δύναμη και να επιτευχθεί η παγίδευση ενός σωματιδίου είναι απαραίτητο το πεδίο να είναι μη ομογενές ώστε η μεταβολή του να είναι διάφορη του μηδενός. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι η ασκούμενη στο σωματίδιο δύναμη είναι μέχρι ορισμένες δεκάδες pico Newton.

6) Μόνιμοι μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες?

Για την μαγνητική παγίδευση χρησιμοποιούμε συνήθως μόνιμους μαγνήτες διότι έχουν την δυνατότητα να ασκήσουν μεγάλες δυνάμεις στα σωματίδια. Για παράδειγμα ένας σύνηθης μόνιμος μαγνήτης της τάξεως των 5mm μπορεί να ασκήσει δύναμη μέχρι και 40pN σε σωματίδια των 500nm ενώ ένας αντίστοιχος ηλεκτρομαγνήτης θα ασκούσε περίπου εκατό φορές μικρότερη δύναμη. Αυτό συμβαίνει συνήθως γιατί στους ηλεκτρομαγνήτες έχουμε μεν υψηλή τιμή στη κλίση του δυναμικού αλλά πολύ χαμηλή τιμή στην έναυσή του. Έτσι η συνολική δύναμη προκύπτει πολύ μικρή. Επίσης, οι μόνιμοι μαγνήτες δεν χρειάζονται εξωτερικές πηγές ενέργειας για να λειτουργήσουν.

Ωστόσο, ένα βασικό πλεονέκτημα του ηλεκτρομαγνήτη είναι ότι το σύστημα που δημιουργείται είναι από μόνο του πολύ ευέλικτο και δίνει την δυνατότητα να αλλάζουμε την θέση των πόλων και συνεπώς να κινούμε τα σωματίδια στις κατευθύνσεις που επιθυμούμε.

Στην παρούσα εργασία, μας ενδιαφέρει πρωτίστως να έχουμε μεγάλο ποσοστό συγκράτησης των σωματιδίων, δηλαδή μεγάλες δυνάμεις σε αυτά, άρα επιλέξαμε να ασχοληθούμε με μόνιμους μαγνήτες.

ΒΑΣΙΚΑ CONCEPT

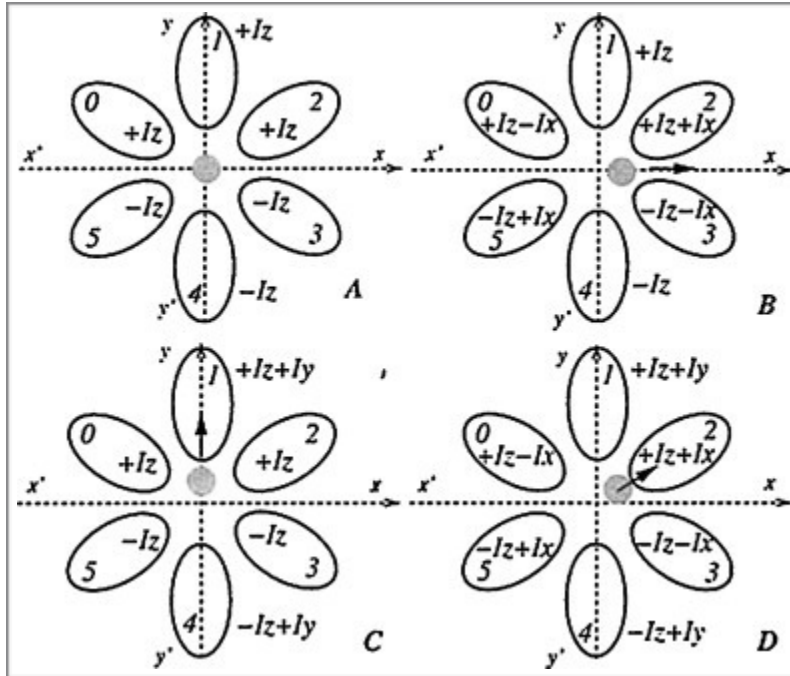
Το trapping και release των σφαιριδίων είναι σημαντικό σε ορισμένες περιπτώσεις κυρίως βιολογικές και για αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετές εφαρμογές.

Τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε :

- **Συστήματα με μόνιμο μαγνήτη**
- **Συστήματα με ηλεκτρομαγνήτη**
- **Συστήματα παγίδευσης μόνο με ροή**

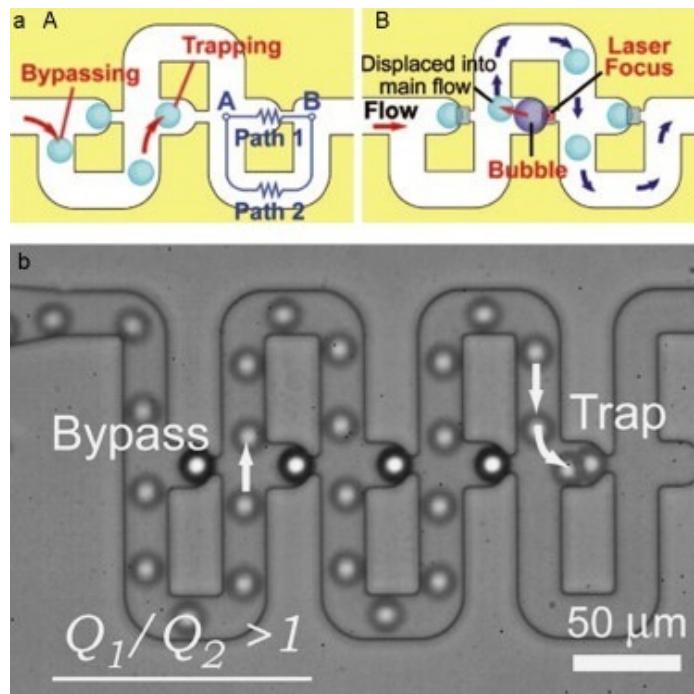
Στο σχεδιασμό θα βοηθήσει η βιβλιογραφική μελέτη τέτοιων συστημάτων. Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποιες μελέτες που έχουν γίνει:

- Του Smistrup : Χρησιμοποίησε Permalloy magnetic elements
- Των Lund-Olesen : Μοιάζει με του Smistrup και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για DNA hybridization
- Του Winkleman : Πρόσθεσε την δυνατότητα για παγίδευση και μη μαγνητικών σφαιριδίων
- Του Mirowski : Πρόσθεσε μία έξτρα διάσταση στις μαγνητικές παγίδες
- Του Lee : Χρησιμοποίησε δύο στρώσεις χρυσών καλωδίων σε συστοιχία 10X10 καλωδίων τα οποία διαρρέονταν από 20 διαφορετικής έντασης ρεύματα που ελέγχονταν από υπολογιστή. Είχε την δυνατότητα παγίδευσης magnetic beads 2.8μm με μέγιστη δύναμη 40pN. Ωστόσο παρουσίασε πρόβλημα αυξημένης θερμοκρασίας και για αυτό ήταν απαραίτητη η χρήση ψυκτικού
- Του Ramadan : flow through device using micro coils and magnetized micro pillars. Επετεύχθει ποσοστό παγίδευσης 84% για παροχή 20μL/min
- Του Strick : Χρήση 6 ηλεκτρομαγνητών τοποθετημένους σε κυκλική μορφή για πλήρη έλεγχο του πεδίου

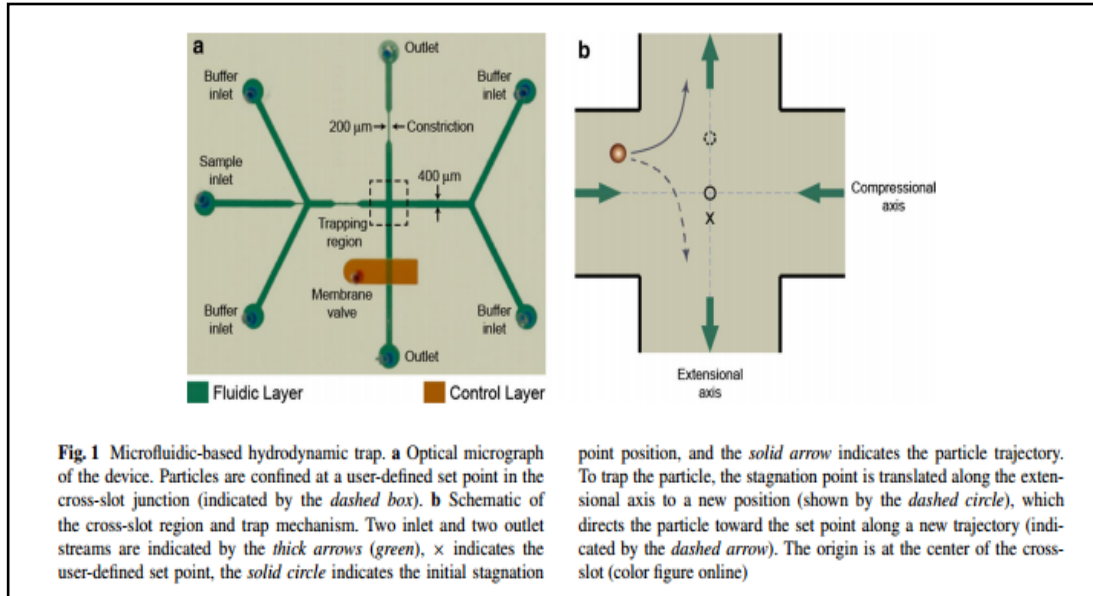


- Των Gosse, Croquette : Παρόμοιο αλλά πιο ανεπτυγμένο από το παραπάνω
- Του De Vries

Είδος καναλιού με ευρεία χρήση για παγίδευση είναι ο μαϊάνδρος με αρχή λειτουργίας που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

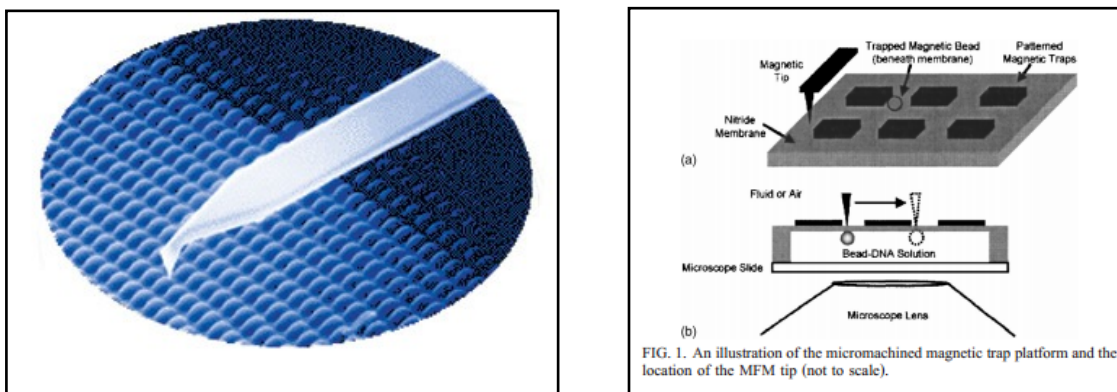


Επιπλέον όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το trapping μπορεί να ενισχυθεί με υδροδυναμικό τρόπο είτε να γίνει και αποκλειστικά μέσω της υδροδυναμικής ροής. Τέτοιο είδος παγίδας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα όπου φαίνεται και ο μηχανισμός της.

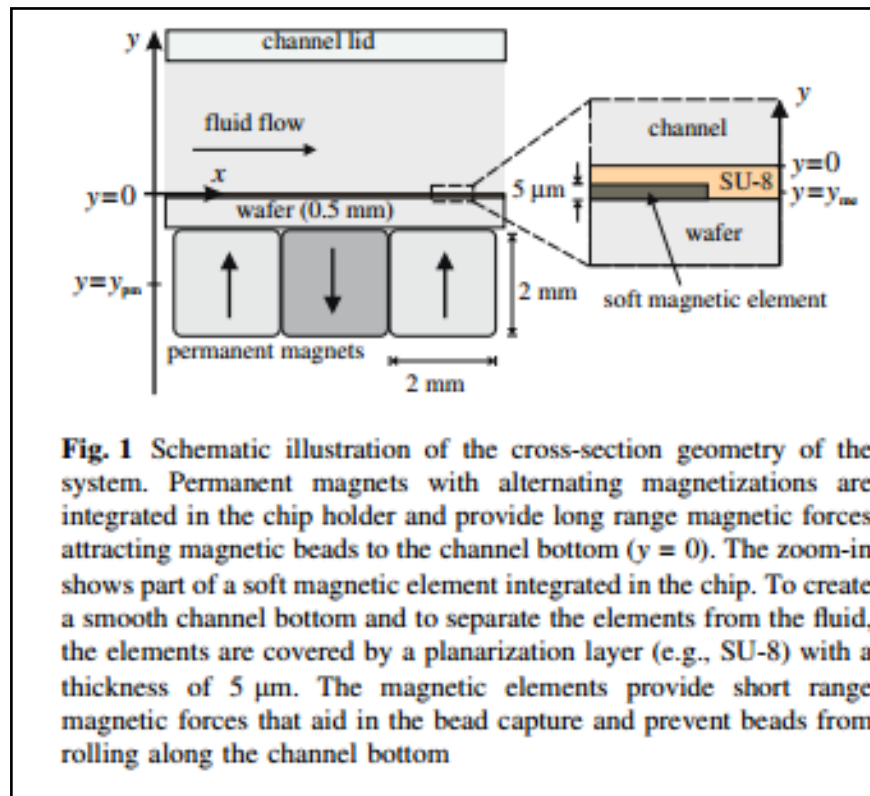


Πολύ χρήσιμο για trapping μπορεί να φανεί και το **MFM** (δηλαδή external magnetic force microscope cantilever). Στην ουσία λειτουργεί σαν ένας μαγνητικός βραχίονας που δημιουργεί ένα gradient τοπικού μαγνητικού πεδίου το οποίο μπορεί να κινησει και να αιχμαλωτίσει σωματίδια της τάξης των νανόμετρων.

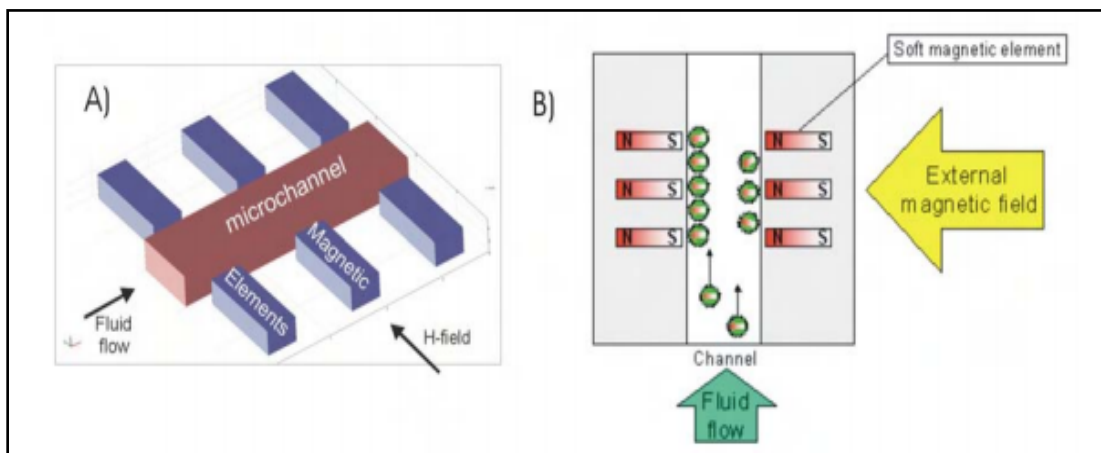
Επίσης είναι εφικτό στην συνέχεια να γίνει και απελευθέρωση των σωματιδίων. "Release of the particles from the MFM tip is made possible by a nitride membrane that separates the arm and magnetic trap elements from the particle solution".



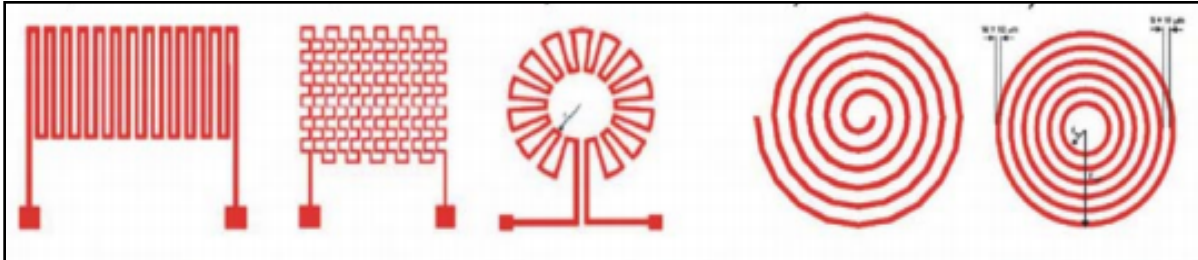
Ένα μοντέλο που μπορεί να υλοποιήσει trapping με μόνιμους μαγνήτες είναι το ακόλουθο :



Ένας άλλος εναλλακτικός τρόπος για να μοντελοποιηθεί αυτό το σύστημα με μόνιμους μαγνήτες είναι :

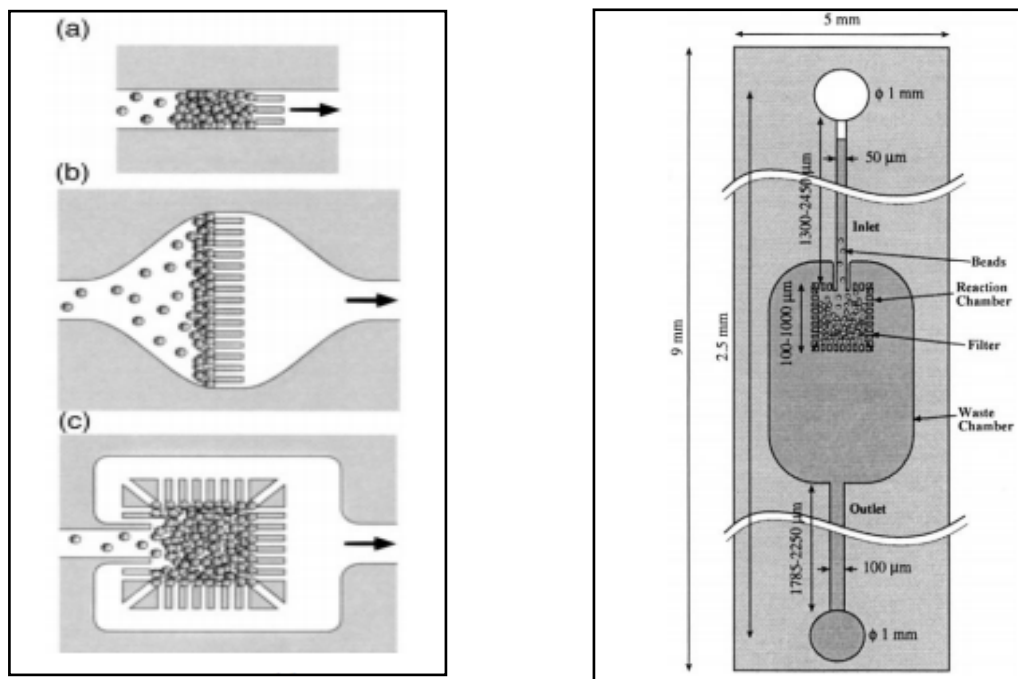


Σε περίπτωση που θέλουμε να κάνουμε χρήση **ηλεκτρομαγνητισμού** αξίζει να αναφέρω ότι η δομή της σπείρας δίνει 5 φορές μεγαλύτερη μαγνητική δύναμη από την δομή μαιάνδρου. Ωστόσο είναι πιο πολύπλοκη η κατασκευή τους. Χαρακτηριστικές δομές σπειρών που χρησιμοποιούνται είναι :



Επίσης κάτι που χρησιμοποιείται πολύ συχνά και με μεγάλη επιτυχία σε αντίστοιχες εφαρμογές είναι μικρο-φίλτρα για το trapping. Τέτοια φίλτρα μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές.

Στην τρίτη περίπτωση τα pillars του φίλτρου δημιουργούν και ένα reaction chamber.



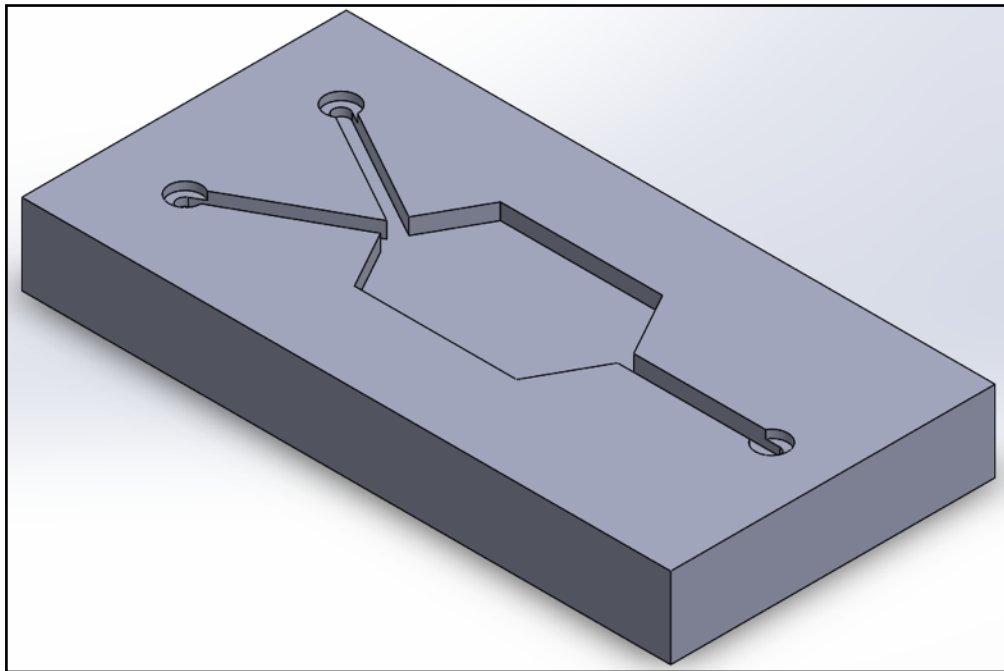
Επομένως αντιλαμβανόμαστε ότι πρέπει να γίνει ένας συνδυασμός των παραπάνω τρόπων έτσι ώστε η κατασκευή να εξυπηρετεί τις δικές μας προδιαγραφές.

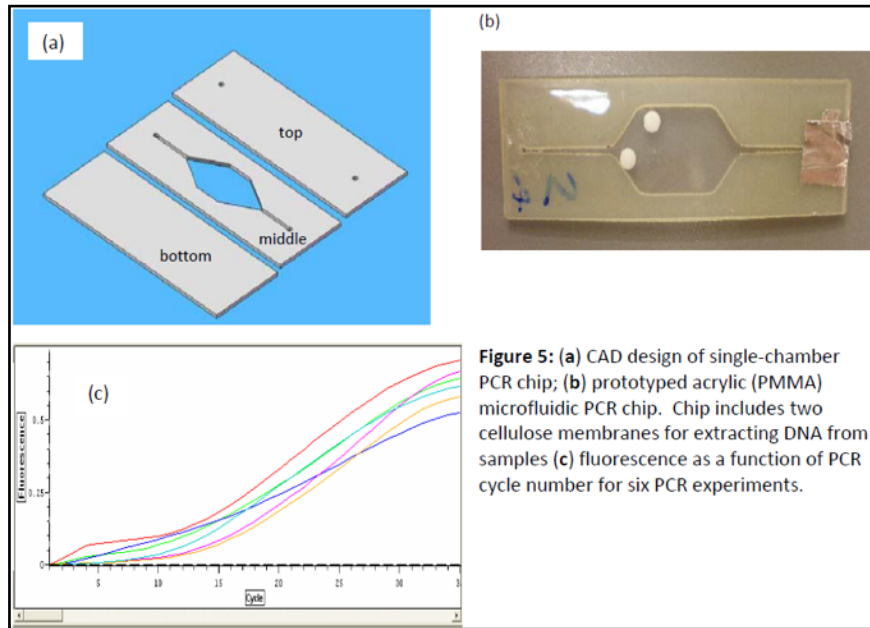
ΣΧΕΔΙΑ

Τα βιολογικά μικρο-ηλεκτρομηχανικά συστήματα (biological MicroElectro-Mechanical systems BioMEMS) τα οποία βασίζονται στις μικρο-ροές ρευστών είναι συσκευές που ενσωματώνουν λειτουργίες και εξαρτήματα του εργαστηρίου σε ένα chip πολύ μικρής κλίμακας. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι κάποια μικρο-δεξαμενή, ελεγκτής ρευστού, αντιδραστήρες, αντλίες, διαχωριστές και διάφορους μικρο-αισθητήρες.

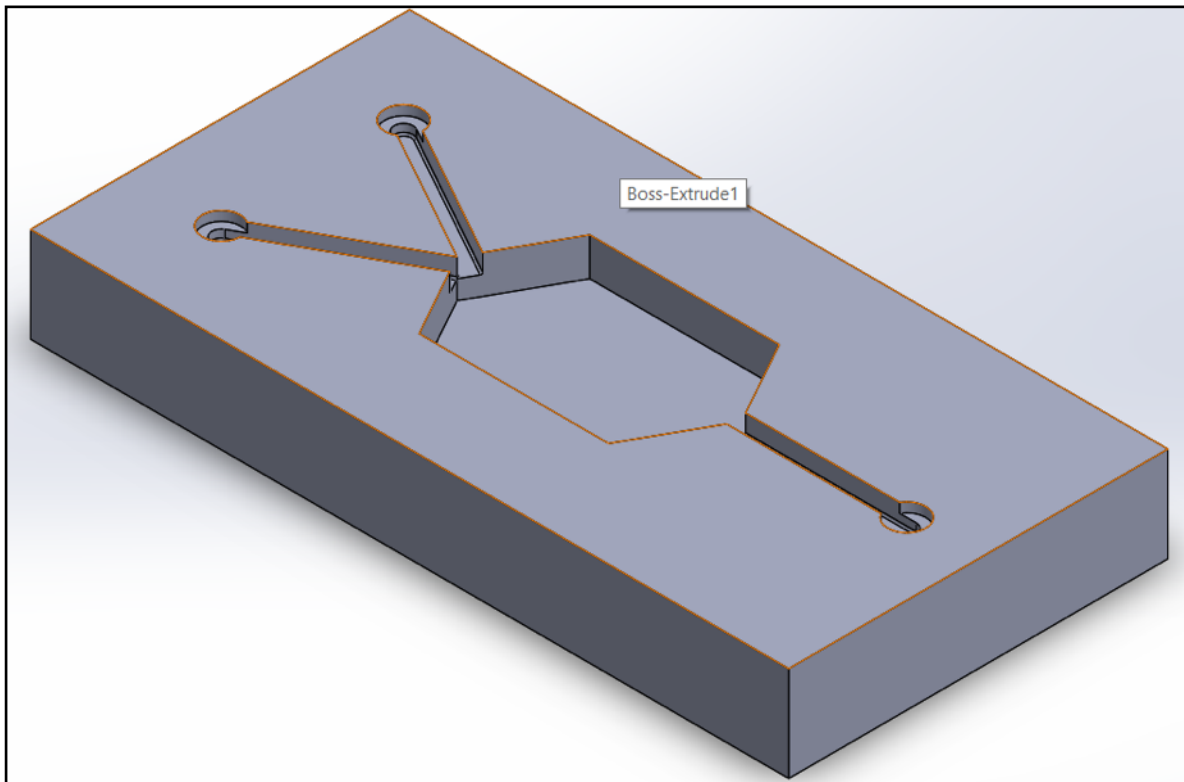
Υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται τα BioMEMS. Άλλα που χρησιμοποιούνται για μίξη και άλλα για διαχωρισμό υγρών. Για τις διαδικασίες αυτές άλλοτε χρησιμοποιείται ηλεκτρικό πεδίο, άλλοτε μαγνητικό καθώς επίσης μπορεί και απλά με τη γεωμετρία που έχουμε να οδηγηθούμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

- Μια γεωμετρία με την οποία θα πετυχαίναμε τον καλύτερο δυνατό τρόπο πλήρωσης του δοχείου μίξης και παγίδευσης των beads θα ήταν το τραπέζιο όπως βλέπουμε και σε άλλες εφαρμογές:

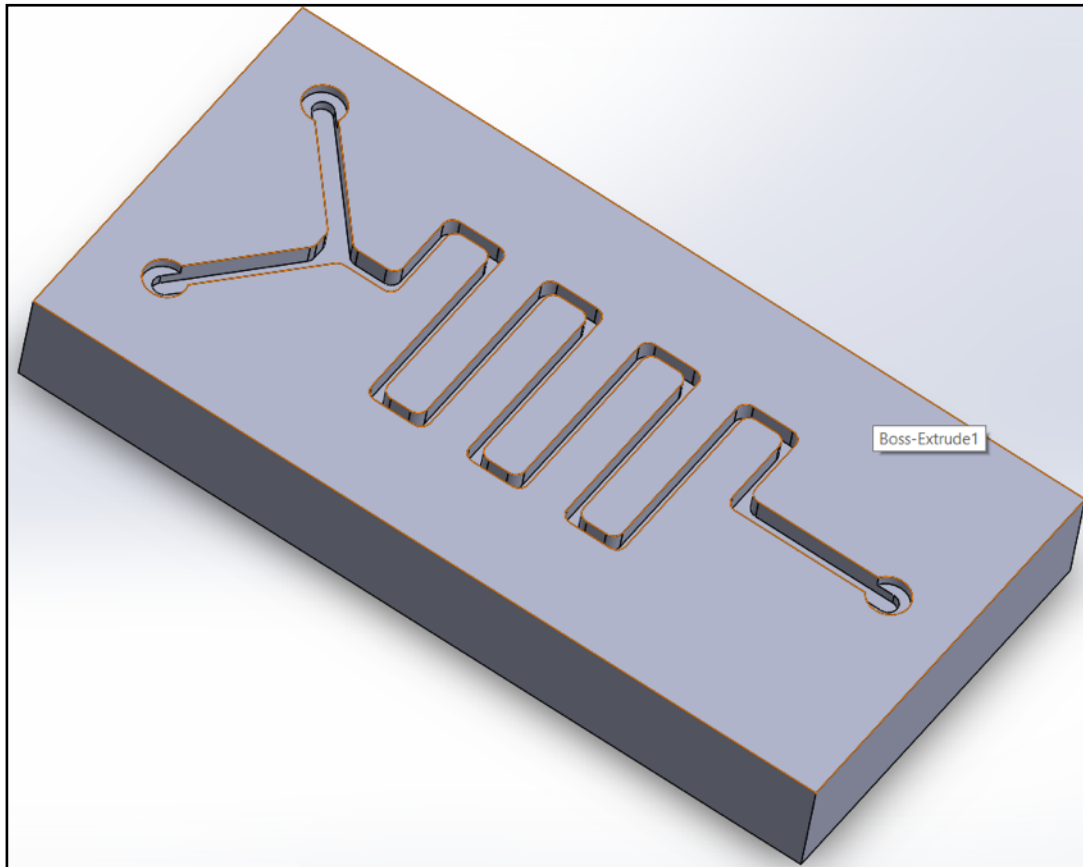




- Για να εκμεταλλευτούμε το μέγεθος των beads (μεγαλύτερο από τα μόρια του υγρού) αλλά και το βάρος τους το οποίο θα ενισχύεται και με το μαγνητικό πεδίο μπορούμε να έχουμε στο δοχείο μίξης μεγαλύτερο βάθος όπως φαίνεται παρακάτω:

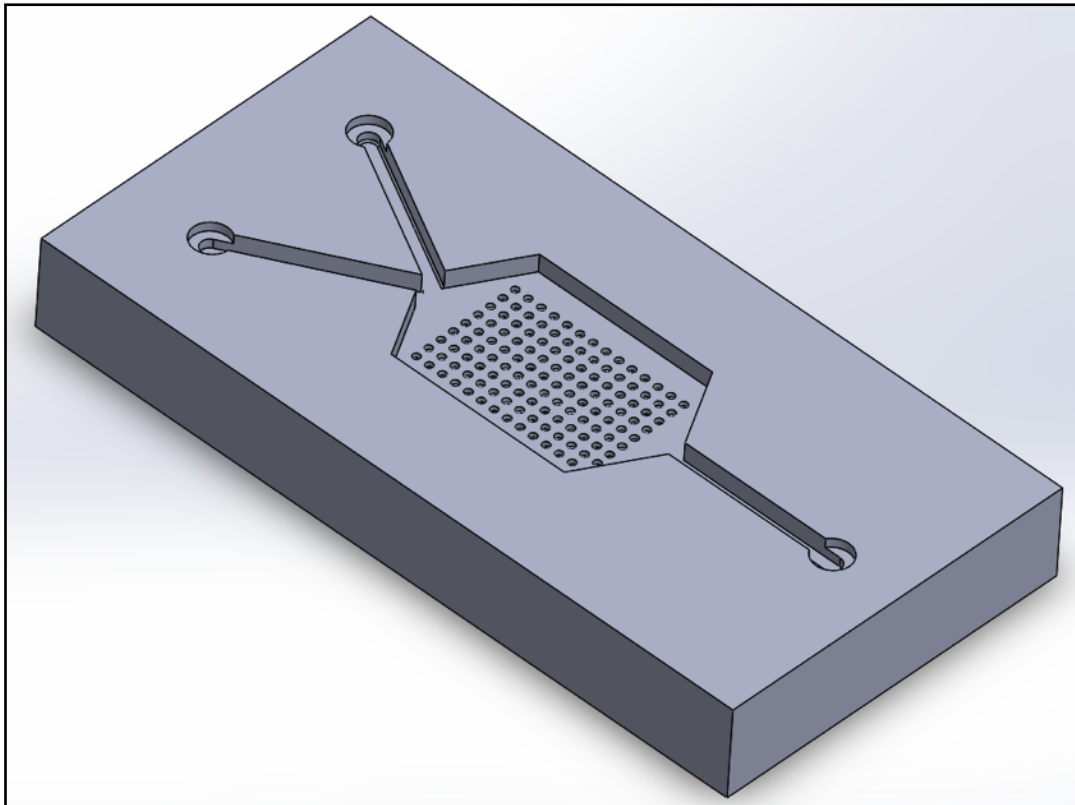


- Μια γεωμετρία που επίσης θα επιβράδυνε αρκετά τα Beads με σκοπό να γίνει και μίξη των υγρών αλλά και να παγιδευτούν όσο το δυνατόν περισσότερα beads είναι ο μαϊάνδρος όπως φαίνεται παρακάτω:



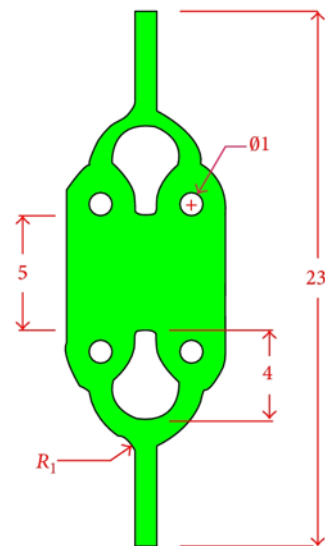
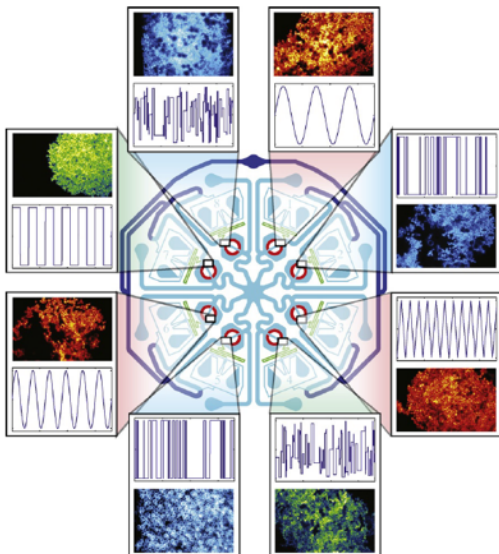
Μπορούμε και σε αυτήν την περίπτωση στο δοχείο ανάμιξης (μαϊάνδρο) να έχουμε μεγαλύτερο βάθος ώστε να επιτύχουμε ακόμα μεγαλύτερη παγίδευση των beads.

- Άλλη γεωμετρία η οποία θα μπορούσε να μας δώσει και μια αρχική τιμή για το πόσα beads έχουν δεσμευτεί είναι μια γεωμετρία με τρύπες στο μέγεθος των beads όπου αυτά θα παγιδεύονταν εκεί και ύστερα θα μπορούσαμε αναποδογυρίζοντας το BioMEM και παρέχοντας του εκ νέου υγρό να αποδεσμεύσουμε τα beads.



Η ίδια σκέψη μπορεί να γίνει και στον μαϊάνδρο με μικρές εσοχές κατά την πορεία του οι οποίες θα έχουν το μέγεθος ενός bead.

➤ Άλλες πιο περίπλοκες γεωμετρίες



References

- Micromachined flow-through filter-chamber for chemical reactions on beads (Helene Andersson), Wouter van der Wijngaart, Peter Enoksson, Goran Stemma
- Design considerations for microfluidic reaction chambers, Grace Bio-labs (<http://www.gracebio.com/blog/design-considerations/>)
- Theoretical analysis of a new, efficient microfluidic magnetic bead separator based on magnetic structures on multiple length scales Kristian Smistrup, Minqiang Bu, Anders Wolff, Henrik Bruus, Mikkel Fougth Hansen
- Integrated Microfluidic Mixer and Magnetic Bead Separator, Torsten Lund-Olesen
- Characterizing the performance of the hydrodynamic trap using a control-based approach Anish Shenoy, Melikhan Tanyeri, Charles M. Schroeder
- Manipulation and sorting of magnetic particles by a magnetic force microscope on a microfluidic magnetic trap platform, Elizabeth Mirowski, John Moreland, Arthur Zhang, and Stephen E. Russek
- <https://www.youtube.com/watch?v=bht9AJ1eNYc>
- Review of cell and particle trapping in microfluidic systems (J. Nilsson, M. Evander, B. Hammarström, T. Laurell)